



TUGAS AKHIR - SF 141501

STUDI AWAL PANEL RESONATOR DAN DIFUSER SILINDER POLYVYNIL CARBONATE

Andy Agusta Putra
NRP 1112 100 023

Dosen Pembimbing
Dr. Suyatno, M.Si
Susilo Indrawati, M.Si

Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - SF 141501

**STUDI AWAL PANEL RESONATOR DAN DIFUSER
SILINDER POLYVYNIL CARBONATE**

Andy Agusta Putra
NRP 1112 100 023

Dosen Pembimbing
Dr. Suyatno, M.Si
Susilo Indrawati, M.Si

Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - SF 141501

**PRELIMINARY STUDY OF RESONATOR AND DIFFUSER
PANELS FROM POLYVINYL CARBONATE CYLINDER**

Andy Agusta Putra
NRP 1112 100 023

Advisor
Dr. Suyatno, M.Si
Susilo Indrawati, M.Si

Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**STUDI AWAL PANEL RESONATOR DAN DIFUSER
SILINDER POLYVYNIL CARBONATE**

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas

Akhir Program Strata I

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu

Pengetahuan Alam

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ANDY AGUSTA PUTRA

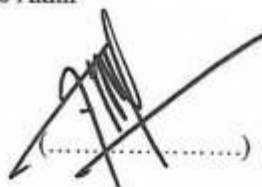
NRP. 1112100023

Disetujui oleh tim pembimbing Tugas Akhir

Dosen Pembimbing I

Dr. Suyatno, M.Si

NIP. 19760620 200212.1.004



(.....)

Dosen Pembimbing II:

Susilo Indrawati, M.Si

NIP. 1100201301001



(.....)



Surabaya, Januari 2017

STUDI AWAL PANEL RESONATOR DAN DIFUSER SILINDER POLYVYNIL CARBONATE

Nama : Andy Agusta Putra
NRP : 1112100023
Jurusan : Fisika, FMIPA ITS
Pembimbing 1 : Dr. Suyatno, M.Si
Pembimbing 2 : Susilo Indrawati, M.Si

Abstrak

Penelitian studi awal panel resonator dan difuser silinder polyvynil carbonate dilakukan untuk mengetahui apakah panel resonator dan difuser dapat dibuat dengan memakai bahan dasar pipa PVC. Pipa PVC dipilih menjadi bahan dasar karena memiliki sifat kaku dan juga bentuk permukaan cekung yang dapat dijadikan difuser. Parameter dari resonator dan difuser dari panel diuji pada ruangan *reverberation chamber* dan *anechoic chamber* pada laboratorium fisika akustik, departemen fisika FMIPA ITS. Pengujian parameter resonator yaitu kemampuan resonansi dilakukan pada ruangan *anechoic* dengan metode *anechoic room*. Pengujian parameter difuser, pola hamburan dilakukan dengan metode *anechoic*, sementara koefisien scattering dengan menggunakan metode *reverberation room*. Dari hasil pengukuran didapat bahwa resonator memiliki frekuensi resonansi pada 540 Hz. Difuser dengan pipa kecil cocok ditempatkan pada sudut 0° frekuensi 125 Hz dengan nilai S (koefisien *scattering*) 0.98. pipa sedang pada sudut 30° frekuensi 500 Hz dengan nilai S 0.99. pipa besar pada sudut 0° frekuensi 500 Hz dengan nilai S 0.93.

Kata kunci: Akustik, *polyvynil carbonate*, resonator

PRELIMINARY STUDY OF RESONATOR AND DIFFUSER PANELS FROM POLYVINYL CARBONATE CYLINDER

Name : Andy Agusta Putra
NRP : 1112100023
Major : Fisika, FMIPA ITS
Advisor 1 : Dr. Suyatno, M.Si
Advisor 2 : Susilo Indrawati, M.Si

Abstract

Research of preliminary study of resonator and diffuser panels from polyvinyl carbonate cylinder have been done with the goals to find out if resonator and diffuser panels can be made from PVC pipe. PVC pipe are choosen because of the rigid properties and the form of the surface area that fit to be a diffuser. Parameters of the resonator and diffuser are tested at the reverberation chamber and anechoic chamber on the acoustic physics laboratory of Physics, FMIPA ITS. The parameters measured for the resonator is the resonance ability is measured by using anechoic chamber method. The parameters measured for the diffusers, the scattering pattern measured using anechoic chamber method, and the scattering coefficient measured using reverberation chamber method. From the research, resonant ability are found at the 540 Hz frequency for all three panels. Difuser with small diameter pipe are best at 0° 125 Hz with S 0.98. medium diameter pipe best at 30° 500 Hz with S 0.99. big diameter pipe at 0° 500 Hz with S 0.93.

Key word: *Acoustic, polyvynil carbonate, resonator*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT karena Rahmat dan KaruniaNya-lah Penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul “Studi Awal Panel Resonator dan Difuser Polivinyil Carbonate (PVC)” yang disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas Akhir Program Strata 1 Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama penyelesaian tugas akhir ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak pihak yang telah berkontribusi untuk terselesaikannya tugas akhir ini, diantaranya

1. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan semangat dalam proses perkuliahan mulai dari awal hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Suyatno, M.Si dan juga ibu Susilo Indrawati, M.Si selaku pembimbing dalam tugas akhir ini yang telah sabar memberikan bimbingan dan masukan mulai dari awal pengerjaan hingga dapat terselesaikannya laporan tugas akhir ini
3. Bapak Drs. Gontjang Prajitno, M.Si selaku dosen wali yang telah memberikan motivasi, petunjuk selama penulis menjalani masa perkuliahan
4. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono dan seluruh dosen dan karyawan jurusan Fisika ITS yang telah memberikan ilmu baik didalam maupun diluar kegiatan perkuliahan.
5. Bu Lea yang telah menyempatkan waktunya untuk memberikan kritik dan saran terkait tugas akhir dan presentasi penulis

6. Rekan rekan tugas akhir akustik semester 8 dan 9, Aul, Evi, dan Beta atas bantuan, diskusi, saran dan kritik terkait pengerjaan tugas akhir.
7. Rekan rekan seangkatan lab akustik Gita, Haikal, Wildan, Habib
8. Rekan rekan junior lab akustik, Fannisa, Befie, Adib, Tejo, Selvi, Regina
9. Pak Abu dan seluruh penjaga parkir di depan Jurusan Pak Pon, Bu Pon yang memudahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir dan selalu memberikan semangat serta doa.

Penulis menyadari penulisan laporan ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Kritik dan saran dari semua pihak sangat diterima. Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menjadi rujukan bagi tugas akhir tugas akhir lain.

Surabaya, 24 Januari 2017

Penulis
Andy Agusta Putra

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	x
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
1.6 Manfaat Hasil Penelitian.....	3
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Scattering Coefficient	6
2.2 Waktu dengung	8
2.3 Pola hamburan.....	9
2.4 Resonator	10
2.5 Diffuser.	12
METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Tahap-tahap Penelitian	13
3.2 Studi Literatur	14
3.3 Pengenalan Alat.....	14
3.4 Pembuatan resonator dan difuser	15
3.5 Pengukuran.....	17
3.5.1 Pengukuran resonator	17
3.5.2 Pengukuran difuser.....	17
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	23
4.1 ANALISA DATA	23
4.1.1 RESONANSI	23
4.1.2 KOEFSISIEN ABSORPSI	23
4.1.3 KOEFSISIEN SCATTERING	25
4.1.4 POLA HAMBURAN	26

4.2	PEMBAHASAN.....	28
4.2.1	Pengaruh diameter pipa terhadap resonansi	28
4.2.2	Pengaruh sudut terhadap koefisien absorpsi difuser	29
4.2.3	Pengaruh diameter pipa terhadap koefisien absorpsi difuser	31
4.2.4	Pengaruh sudut terhadap koefisien <i>scattering</i> difuser	32
4.2.5	Pengaruh diameter pipa terhadap koefisien <i>scattering</i> difuser	34
4.2.6	Pengaruh frekuensi terhadap koefisien <i>scattering</i> difuser	35
4.2.7	Pengaruh frekuensi terhadap pola hamburan	36
4.2.8	Pengaruh diameter pipa terhadap pola hamburan	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Interaksi bunyi dengan permukaan	6
Gambar 2.2 Definisi koefisien <i>scattering</i>	7
Gambar 2.3 Kurva peluruhan waktu dengung	9
Gambar 2.4 Resonator Helmholtz	10
Gambar 2.5 Pipa organa tertutup	11
Gambar 2.6 Difuser MLS (kiri) dan QRD (kanan).....	12
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	13
Gambar 3.2 skema rangkaian alat.....	15
Gambar 3.3 Resonator (kiri tampak depan, kanan tampak samping).....	16
Gambar 3.4 Difuser (kiri tampak depan, tengah tampak atas / bawah, kanan tampak samping)	16
Gambar 3.5 Pengukuran resonator.....	17
Gambar 3.6 Pengukuran koefisien <i>scattering</i> pada ruangan <i>reverberation chamber</i>	20
Gambar 3.7 Pengukuran pola hamburan pada ruangan <i>anechoic chamber</i>	21
Gambar 4.1 grafik perubahan nilai tekanan bunyi berdasarkan diameter pipa	28
Gambar 4.2 grafik hubungan frekuensi dengan koefisien <i>scattering</i> pada pengukuran sudut 30°	35
Gambar 4.3 Grafik pola hamburan difuser kecil	36
Gambar 4.4 grafik Pola hamburan pada frekuensi 125 Hz	37

Daftar Tabel

Tabel 4.1 data perhitungan frekuensi resonator	23
Tabel 4.2 Data waktu dengung pada sudut 0°	24
Tabel 4.3. Data waktu dengung pipa kecil pada sudut 0°	26
Tabel 4.4 data perhitungan koefisien absorpsi PVC diameter besar.....	29
Tabel 4.5 data perhitungan koefisien absorpsi PVC sudut 60°	31
Tabel 4.6 data perhitungan koefisien scattering PVC diameter besar.....	32
Tabel 4.7 Data perhitungan koefisien scattering sudut 60°	34

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Resonansi adalah suatu peristiwa yang sangat penting dalam ilmu akustik dan mempengaruhi kualitas akustik. Secara sederhana, resonansi dapat diartikan peristiwa dimana terjadinya pergetaran suatu benda karena ada benda lain yang bergetar. Resonansi dapat dikendalikan dengan berbagai hal, diataranya dengan desain ruang sampai dan penambahan material akustik. Material akustik yang mampu mempengaruhi resonansi salah satunya adalah resonator. Resonator adalah suatu alat yang dapat menghasilkan resonansi pada frekuensi tertentu. Pada pemanfaatannya, resonator akustik dapat digunakan untuk menghilangkan atau menguatkan bunyi pada frekuensi tertentu. Resonator dapat terbuat dari bahan apapun, asalkan bahan tersebut mampu menimbulkan resonansi, baik dari sifat dasar bahan maupun dari bentuk bahan tersebut.

Material akustik lain yang sering digunakan untuk memperbaiki cacat akustik adalah difuser. Difuser merupakan panel akustik yang berfungsi untuk menyebarkan suara. Dalam akustik, persebaran suara sangat penting karena akan berpengaruh terhadap kualitas suara sebuah ruangan. Penyebaran atau penghamburan suara dapat dicapai dengan menggunakan bahan yang memiliki permukaan keras dan tidak rata, karena jika menggunakan permukaan lembut maka suara akan cenderung diserap, sedangkan jika memakai permukaan rata, maka suara akan cenderung dipantulkan langsung tanpa mengalami penghamburan.

Saat ini sudah mulai banyak yang mengembangkan resonator dan difuser sebagai material akustik. Dari sisi bentuk

resonator yang dikembangkan saat ini adalah resonator Helmholtz sedangkan difuser yang dikembangkan bentuknya berupa kotak dapat berupa MLS (Maximum length diffuser) atau QRD (Quadratic residue). Pada penelitian ini akan dilakukan studi awal dalam pembuatan resonator dan difuser. Adapun bahan yang akan digunakan berbahan baku pipa PVC yang berbentuk silinder, bahan baku ini dipilih karena bentuknya yang masih jarang dipakai dalam pembuatan material akustik. Ketersediaan pipa PVC di pasaran sangat banyak dan juga memiliki sifat kaku, dimana sifat kaku ini dapat memantulkan bunyi, sehingga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan resonansi.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat resonator dan difuser berbahan dasar pipa pvc
2. Bagaimana cara melakukan pengujian terhadap kemampuan resonator dan difuser yang meliputi koefisien *scattering* dan pola hamburannya.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu

1. Menentukan kemampuan resonansi dari resonator
2. Mengukur koefisien *scattering* difuser
3. Menentukan pola hamburan dari difuser

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu

1. Pipa yang digunakan adalah pipa PVC (ukuran $\frac{1}{2}$ " , 1" , $\frac{3}{2}$ ")

2. Dimensi resonator dan difuser berukuran 60×60 cm
3. Pengukuran dilakukan di ruangan *reverberation* dan *anechoic* Fisika ITS

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini, tersusun dalam lima bab yaitu: Bab 1: Pendahuluan, berisi latar belakang masalah, maksud dan tujuan, perumusan masalah dan manfaat tugas akhir. Bab 2: Tinjauan Pustaka, berisi mengenai kajian pustaka yang digunakan pada tugas akhir. Bab 3: Metodologi Penelitian, berisi tentang metode dan tahap pengambilan data. Bab 4: Analisa Data dan Pembahasan, berupa hasil data yang diperoleh, serta analisa yang dilakukan. Bab 5: Kesimpulan, berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

1.6 Manfaat Hasil Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu dapat mengetahui apakah reffusor dan resonator dapat dibuat dengan menggunakan bahan baku pipa PVC, sehingga data yang didapat bisa dimanfaatkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Peristiwa akustik adalah perilaku bunyi baik di dalam maupun luar ruang, sejak bunyi tersebut dihasilkan sumber bunyi hingga terdengar. Bunyi dapat berupa bunyi asli/langsung atau bunyi buatan yang dihasilkan sistem tata suara (*sound system*). Dalam penjalarnya, bunyi akan mengalami beberapa peristiwa akustik yang umum terjadi adalah sebagai berikut :

1. Propagasi

Perambatan gelombang bunyi ke segala arah oleh medium penghantar yang dipengaruhi kerapatan dan suhu medium. Kecepatan rambat bunyi pada medium udara 340m/detik. Makin renggang dan makin tinggi suhu medium, kecepatan rambat semakin meningkat.

2. Refleksi

Pemantulan bunyi oleh suatu medium yang rambatannya berubah ke arah sesuai dengan sudut pantulnya. Medium berupa material reflektor memiliki kemampuan memantulkan bunyi lebih tinggi daripada menyerap bunyi.

3. Absorpsi atau absorpsi?

Penyerapan energi bunyi oleh medium, yang energinya berubah menjadi energi kinetik dan kalor. Medium berupa material absorber memiliki kemampuan menyerap bunyi lebih tinggi daripada memantulkan bunyi.

4. Difusi

Penyebaran bunyi oleh suatu medium, dimana rambatan bunyi menjadi berubah arah tersebar ke segala arah. Medium berupa material diffuser berfungsi untuk menyebar arah rambatan bunyi.

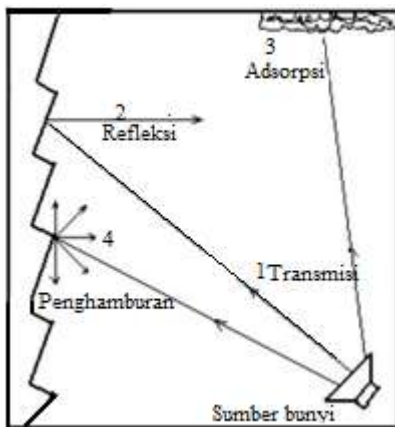
5. Transmisi

Transmisi adalah penerusan bunyi antar medium.

6. Resonansi

Resonansi diartikan sebagai peristiwa bergetarnya sesuatu karena terpengaruh oleh hal lain yang bergetar karena memiliki frekuensi yang sama. Dalam akustik, resonansi dapat berguna untuk memperkuat atau menghilangkan suara dengan frekuensi tertentu.

Berdasarkan uraian diatas, dapat diilustrasikan bahwa banyak peristiwa yang mampu dialami oleh suara, secara garis besar, perambatan bunyi dalam ruangan bisa digambarkan dengan gambar berikut.



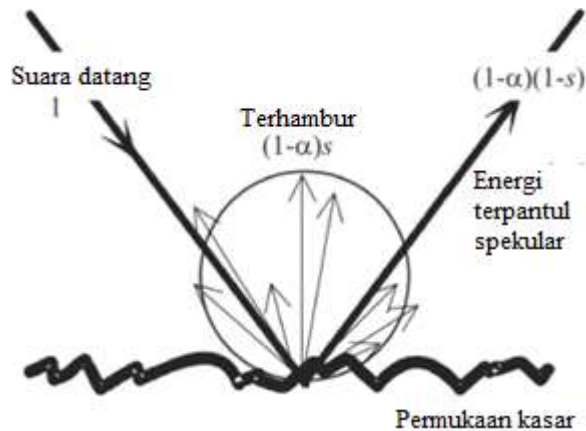
1. Perambatan bunyi
2. Pemantulan bunyi
3. Penyerapan bunyi
4. Penyebaran bunyi

Gambar 2.1 Interaksi bunyi dengan permukaan

2.1 *Scattering Coefficient*

Koefisien *scattering* adalah perbandingan antara jumlah energi yang terpantul secara spekular dan terhambur. Spekular adalah pemantulan yang terjadi saat sudut datang dan sudut pantul memiliki nilai yang sama. Dalam akustik, pantulan terbagi menjadi dua komponen, yaitu komponen

spekular dan komponen terhambur. Komponen spekular adalah jumlah energi yang terpantulkan dalam cara yang sama jika energi tersebut mengenai sebuah bidang datar. Komponen terhambur adalah jumlah energi yang tidak terpantulkan secara spekular atau terpantul secara acak. Koefisien *scattering* sangat bergantung kepada frekuensi dan juga sudut dari bunyi yang datang. Koefisien *scattering* juga bergantung kepada koefisien absorpsi, karena jika koefisien absorpsi terlalu besar, maka nilai dari koefisien *scattering* yang didapat tidak akan akurat.



Gambar 2.2 Definisi koefisien *scattering*

Energi dari pantulan dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$E_{spec} = (1 - \alpha)(1 - s) \equiv (1 - \alpha_{spec}) \quad (2.1)$$

$$E_{pantul\ total} = 1 - \alpha \quad (2.2)$$

Dengan E_{spec} adalah energi yang terpantulkan secara spekular, $E_{pantul\ total}$ adalah total energi yang terpantulkan, s

adalah koefisien *scattering*, α adalah koefisien absorpsi, dan α_{spec} adalah koefisien absorpsi spekular. Koefisien absorpsi spekular adalah energi yang tersebar dari arah pantulan spekular. Energi yang dipantulkan tidak terdispersi menjadi panas, tetapi terpantulkan menuju arah selain arah spekular. Persamaan untuk mencari koefisien *scattering* adalah sebagai berikut

$$s = \frac{\alpha_{spec} - \alpha}{1 - \alpha} = 1 - \frac{E_{spec}}{E_{pantul\ total}} \quad (2.3)$$

Dengan

E_{spec} : energi spekular

$E_{spec} = E_{total} - E_{hambur}$

$E_{pantul\ total}$: energi datang dikurangi dengan energi yang diserap

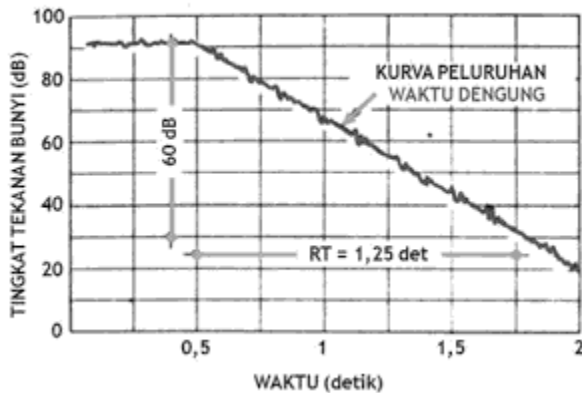
S : koefisien hamburan

α : koefisien serapan difuser

α_{spec} : koefisien serapan specular

2.2 Waktu dengung

Waktu dengung adalah waktu yang dibutuhkan bunyi untuk tetap terdengar dalam sebuah medium (ruang) setelah bunyi aslinya tidak ada (mati). Akibatnya dapat memperkuat dan memperjelas bunyi asli. Waktu dengung identik dengan waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan *sound pressure level* sebesar 60 dB sejak bunyi tersebut berhenti. **Gambar 2.2** menjelaskan bahwa SPL bunyi turun dari 90 dB menjadi 30 dB selama 1.25 detik. Itu berarti RT-nya sebesar 1.25 detik.



Gambar 2.3 Kurva peluruhan waktu dengung

Secara matematis, waktu dengung yang terjadi dapat dihitung berdasarkan persamaan empiris dari penelitian sabine sebagai berikut :

$$RT = \frac{0.16 V}{\Sigma (S\alpha)} = \frac{0.16 V}{A} \quad (2.4)$$

Dengan

RT = Waktu dengung yang terjadi (detik)

V = Volume ruang yang terekspos bunyi (m³)

S = Luas per jenis material interior yang terekspos bunyi (m²)

α = koefisien penyerapan bunyi per jenis material interior yang terekspos bunyi sesuai frekuensi rata-rata bunyi (sabin)

A = absorpsi bunyi dalam ruang (Sabin m²)

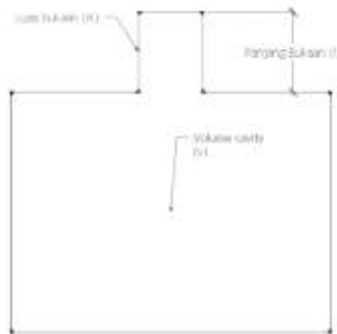
2.3 Pola hamburan

Pola hamburan berfungsi untuk menunjukkan karakteristik suatu bahan dalam kemampuannya untuk

menghamburkan suara pada sudut tertentu. Pola hamburan sendiri tergantung kepada frekuensinya.

2.4 Resonator

Resonator rongga adalah absorber berupa balok yang memiliki rongga resonansi dimana gelombang bunyi yang terjebak di dalamnya akan dipantulkan berulang kali dan energinya diserap hingga habis. Salah satu jenis resonator yang dikembangkan adalah resonator helmholtz, yang memiliki bentuk seperti berikut



Gambar 2.4 Resonator Helmholtz

Nilai Frekuensi resonansi dari resonator tak teredam bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5 (K. B. Ginn, 1978)

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{IV}} \quad (2.5)$$

dengan

c = kecepatan suara (m/s)

A = luas area bukaan neck (m²)

I = panjang neck (m)

V = volume cavity (m³)

Pada penelitian Mitchel et al, frekuensi resonansi dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3 E c}{2 R l t \rho l}} \quad (2.6)$$

dengan

E_c = modulus elastisitas kulit

Rl = radius core

ρl = densitas core

t = ketebalan kulit

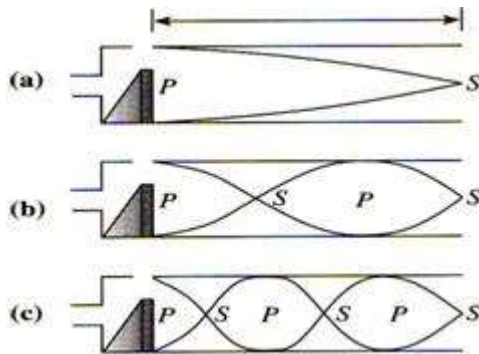
Selain itu dapat pula dilakukan perhitungan frekuensi resonansi berdasarkan pipa organa tertutup dengan persamaan sebagai berikut

$$f = \frac{c}{4l} \quad (2.6)$$

dengan

c = kecepatan suara (m/s)

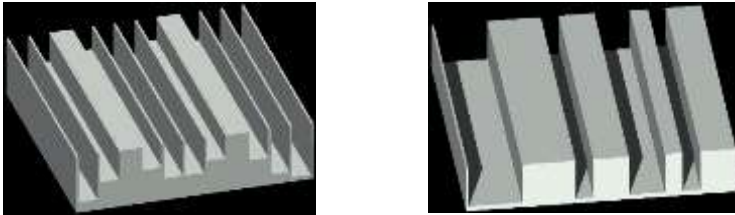
l = panjang organa (m)



Gambar 2.5 Pipa organa tertutup

2.5 Diffuser.

Diffuser adalah sebuah material yang memiliki permukaan yang tidak rata. Diffuser dapat terbuat dari material reflektor atau absorber. Bentuk tidak beraturan dari suatu diffuser berfungsi untuk memantulkan sebuah suara yang mengenai diffuser secara tidak merata. Dengan pemantulan yang tidak merata tersebut, maka suara akan mengalami difusi. Diffuser sendiri memiliki beberapa macam bentuk, diantaranya adalah MLS dan QRD.

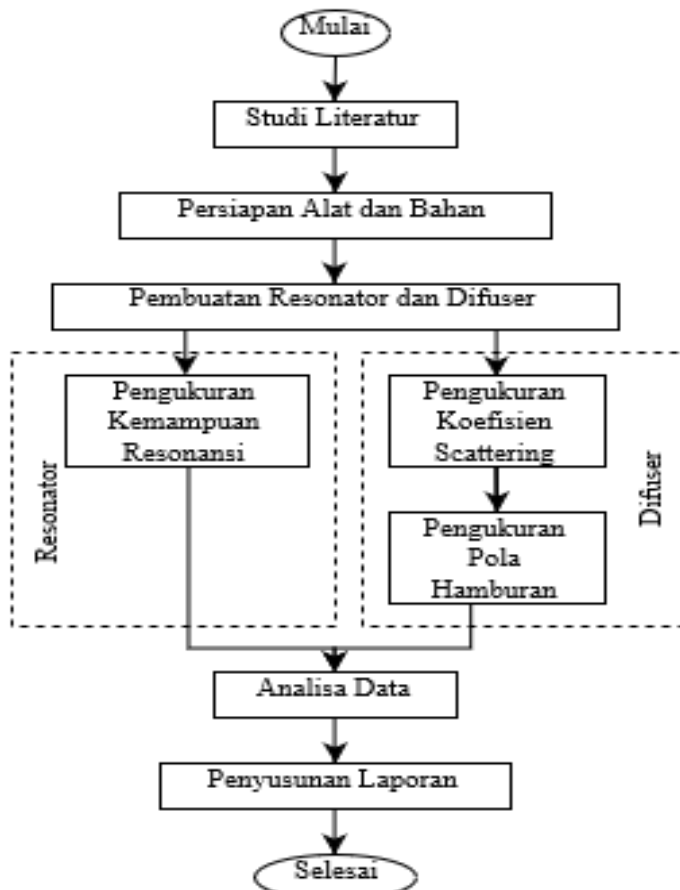


Gambar 2.6 Difuser MLS (kiri) dan QRD (kanan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahap-tahap Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang dilakukan. Adapun tahapan ditunjukkan diagram alir berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Studi Literatur

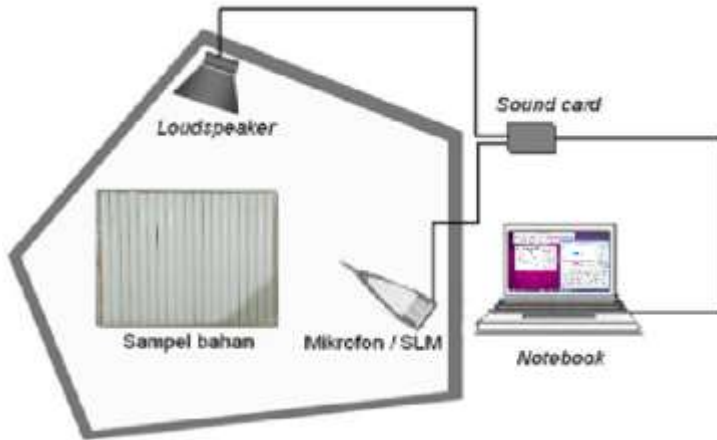
Studi literatur dilakukan untuk mendukung proses pembuatan tugas akhir dari serta memahami arah dan alur penelitian yang dapat mendukung proses penelitian dari awal hingga penulisan laporan. Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan dasar teori yang berkaitan dengan penelitian sehingga dapat menjadi acuan dalam melakukan analisis dan pembahasan. Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi buku-buku teks, artikel, jurnal ilmiah serta internet.

3.3 Pengenalan Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat keras dan lunak yang meliputi:

- i. *Personal Computer* (PC/Laptop) untuk menghasilkan suara yang digunakan untuk melakukan pengukuran
- ii. *Sound Level Meter (SLM)* berfungsi untuk membaca tingkat tekanan bunyi
- iii. *Speaker* berfungsi mengeluarkan bunyi yang dibutuhkan
- iv. *Amplifier* berfungsi untuk menguatkan sinyal suara yang berasal dari PC agar mencapai tingkat yang sesuai
- v. *Tripod* berfungsi untuk menyangga *SLM* agar tetap pada ketinggian yang diinginkan
- vi. *Statip* berfungsi untuk menyangga resonator saat dilakukan pengukuran
- vii. *Turntable* berfungsi untuk memutar resonator saat dilakukan pengukuran

- viii. *Soundcard* berfungsi untuk menjembatani laptop dan amplifier

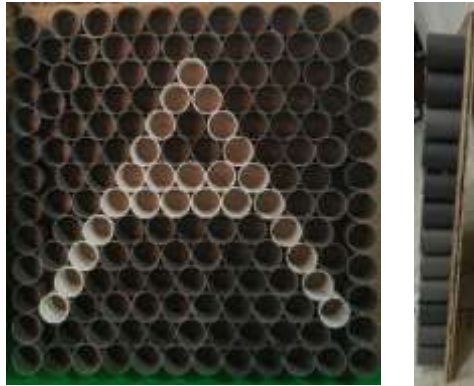


Gambar 3.2 skema rangkaian alat

3.4 Pembuatan resonator dan difuser

Pada tahap ini akan dijelaskan tentang cara membuat reffusor dan resonator. Pertama adalah menyiapkan semua alat dan bahan yang dibutuhkan, yaitu antara lain triplek, gergaji, lem, dan juga pipa PVC. Pipa yang digunakan memiliki tiga variasi, yaitu dengan ukuran $\frac{1}{2}$ ", 1", dan $1\frac{1}{2}$ ". Lalu pipa dipotong sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan yaitu 60 cm dan 5 cm. Panel yang pertama adalah resonator, panel ini memiliki ukuran 60 x 60 cm. Pembuatan resonator ini menggunakan pipa yang berukuran 5 cm yang disusun secara vertikal seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.3**. Panel yang kedua adalah difuser, dalam pembuatan difuser ini digunakan pipa yang berukuran 60 cm yang disusun horizontal. Pipa yang disusun tersebut kemudian ditempelkan dan dilem

pada triplek yang memiliki luasan 60 x 60 cm seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.4**



Gambar 3.3 Resonator (kiri tampak depan, kanan tampak samping)



Gambar 3.4 Difuser (kiri tampak depan, tengah tampak atas / bawah, kanan tampak samping)

3.5 Pengukuran

Pengukuran dalam penelitian ini terbagi menjadi dua bagian utama, pengukuran resonator dan pengukuran difuser. Untuk resonator, dilakukan pengukuran kemampuan resonansi sedangkan untuk difuser dilakukan tiga pengukuran, yaitu koefisien absorpsi, koefisien *scattering*, dan pola hamburan.

3.5.1 Pengukuran resonator

Untuk melakukan pengukuran kemampuan resonansi dilakukan pada ruangan anechoic. Pada pengukuran kemampuan resonansi diambil data SPL ruang kosong dan SPL total, dimana ketika SPL total dikurangi dengan SPL ruang kosong, maka akan terdapat perbedaan SPL, perbedaan inilah yang kemudian dapat dianalisa.



Gambar 3.5 Pengukuran resonator

3.5.2 Pengukuran difuser

Metode pengukuran yang digunakan untuk mendapatkan koefisien absorpsi dalam penelitian ini adalah metode reverberation room atau metode ruang dengung. Metode ini memanfaatkan ruang dengung untuk

mendapatkan koefisien absorpsi dari resonator yang diuji. Pertama dilakukan pengukuran waktu dengung ruang dengung tanpa adanya bahan uji, lalu dilakukan pengukuran waktu dengung ruang setelah bahan uji diletakkan dalam ruang dengung. Koefisien absorpsi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$\alpha = 0,16 \frac{V}{A} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (3.1)$$

Dimana

α : koefisien penyerapan difuser

V : volume ruang dengung (m^3)

A : luas bahan uji (m^2)

T_1 : waktu dengung ruang uji saat tidak ada bahan uji (sekon)

T_2 : waktu dengung ruang uji saat ada bahan uji

Metode pengukuran yang digunakan untuk mendapatkan koefisien hamburan dalam penelitian ini adalah metode reverberation room atau metode ruang dengung. Metode ini memanfaatkan ruang dengung untuk mendapatkan koefisien hamburan dari resonator yang diuji. Pertama dilakukan perhitungan waktu dengung pada ruangan tanpa adanya bahan uji dengan *turntable* atau alat pemutar yang tidak berputar, lalu dihitung waktu dengung tanpa adanya bahan uji dengan *turntable* atau alat pemutar yang berputar. Setelah itu dihitung waktu dengung dengan bahan uji diletakkan pada *turntable* atau alat pemutar yang tidak berputar, lalu dihitung waktu dengung dengan bahan uji diletakkan pada *turntable* atau alat pemutar yang berputar. Data diambil pada tiga sudut yang mewakili pemakaian pada ruangan, yaitu 0° , 30° , dan 60° . Setelah

didapatkan semua data, maka dapat dilakukan perhitungan koefisien *scattering* dengan persamaan sebagai berikut

$$S = \frac{\alpha_{spec} - \alpha}{1 - \alpha} \quad (3.2)$$

dengan nilai koefisien penyerapan difuser (α) dan koefisien penyerapan spekular (α_{spec}) yaitu:

$$\alpha = 0,16 \frac{V}{A} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (3.1)$$

$$\alpha_{spec} = 0,16 \frac{V}{A} \left(\frac{1}{T_4} - \frac{1}{T_3} \right) \quad (3.3)$$

dengan

α : koefisien penyerapan difuser

α_{spec} : koefisien penyerapan spekular

V : volume ruang dengung (m^3)

A : luas bahan uji (m^2)

T_1 : waktu dengung ruang uji saat bahan uji tidak ada dan meja putar tidak berputar (sekon)

T_2 : waktu dengung ruang uji saat bahan uji ada dan meja putar tidak berputar (sekon)

T_3 : waktu dengung ruang uji saat bahan uji tidak ada dan meja putar berputar (sekon)

T_4 : waktu dengung ruang uji saat bahan uji ada dan meja putar berputar (sekon)



Gambar 3.6 Pengukuran koefisien *scattering* pada ruangan *reverberation chamber*

Metode pengukuran koefisien hamburan yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada literatur *acoustic absorbers and diffusers* karangan Trevor J. Cox. Pada literatur, ruangan dibagi menjadi lima bagian, yang masing-masing akan menjadi titik untuk menempatkan alat dan bahan yang digunakan untuk pengukuran. Konfigurasi ini berfungsi untuk meminimalisir terjadinya *noise*. Dapat dilihat pada **Gambar 3.5**, bahwa titik A ditempatkan bahan uji, pada titik B digunakan untuk penempatan *microphone*, dan titik C untuk *speaker*. Pada pengukuran pola hamburan, diambil data tingkat tekanan bunyi atau SPL. Tingkat tekanan bunyi yang diambil ada dua, yaitu SPL langsung dan SPL total. SPL langsung adalah tingkat tekanan bunyi ketika tidak ada bahan uji, sementara SPL total adalah tingkat tekanan bunyi ketika ada bahan uji. Tiap SPL diambil pada sudut 0 sampai dengan 180 terhadap bahan uji atau tempat penyangga bahan uji, dengan dilakukan pengambilan tiap 10 derajat. Dimana

untuk mendapatkan nilai SPL hamburan, diperlukan perhitungan untuk mendapat P scatter dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{sc}^2 = P_{ac}^2 \left[\left(10^{\frac{SPL_d}{10}} \right) + \left(10^{\frac{SPL_{TD}}{10}} \right) \right] \quad (3.5)$$

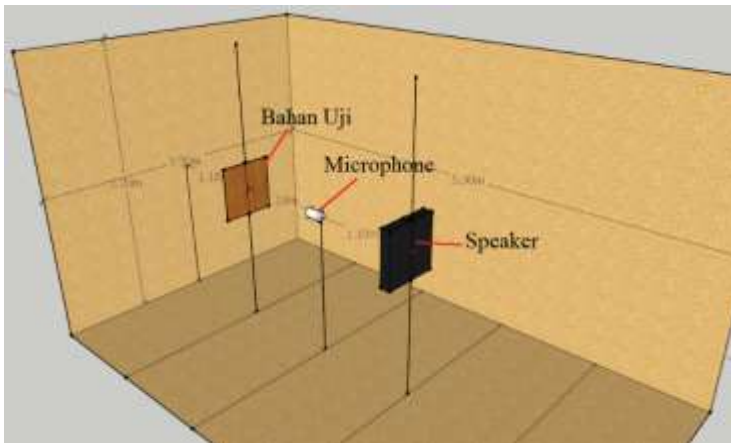
Dengan

SPL_d = Tingkat tekanan bunyi difuser (dB)

SPL_{TD} = Tingkat tekanan bunyi total (dB)

P_{ac}^2 = Tekanan bunyi acuan (N/m^2)

P_{sc}^2 = Tekanan bunyi terhambur (N/m^2)



Gambar 3.7 Pengukuran pola hamburan pada ruangan *anechoic chamber*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 ANALISA DATA

4.1.1 RESONANSI

Pengukuran resonansi dilakukan untuk mengetahui respon terhadap frekuensi suara. Pengukuran dilakukan di ruangan *anechoic chamber* laboratorium akustik Fisika ITS. Pengukuran dilakukan pada saat tidak ada bahan, dan pada saat ada bahan uji. Dari hasil pengukuran, dapat dibandingkan perubahan nilai SPL tanpa bahan uji dan dengan bahan uji.

Berdasarkan sampel yang dibuat, sesuai dengan persamaan (2.5), (2.6), dan (2.7) maka didapat nilai frekuensi resonansi seperti pada **Tabel 4.1**

Tabel 4.1 data perhitungan frekuensi resonator

sampel	diameter	Kjaer (Hz)	Mitchel (Hz)	Organa (Hz)
resonator	kecil	1082	71.53	1742
	sedang	1082	50.38	1742
	besar	1082	58.25	1742

4.1.2 KOEFISIEN ABSORPSI

Koefisien absorpsi adalah kemampuan suatu benda untuk menyerap suara. Nilai ini menunjukkan Apakah suatu benda lebih banyak menyerap suara ataupun memantulkan suara. Pengambilan data koefisien absorpsi dilakukan di ruangan *reverberation chamber* laboratorium akustik Fisika ITS. Ruang uji yang dipakai memiliki bentuk segilima tidak beraturan dan memiliki volume 140 m³. Pengambilan data menggunakan beberapa alat bantu, antara lain *microphone* ECM 8000, *turntable*, *amplifier*, variAC, *horn speaker* Toa

ZH-625S, *audio interface* (kartu suara) Tascam, dan juga komputer. Sementara untuk pengambilan dan pengolahan data, digunakan perangkat lunak dari Yoshimasa Electronic, yaitu *Realtime Analyzer* dan juga *Sound Analyzing System*. Adapun bahan uji yang diukur memiliki ukuran $0.6 \times 0.6 \text{ m}^2$, dengan sudut pengukuran 0° , 30° , dan 60° .

Berdasarkan persamaan 3.1 dapat menentukan nilai koefisien *absorpsi*, adapun data yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 4.2** diperlukan parameter T1 dan T2. Dari hasil pengukuran didapat data seperti **Tabel 4.2** berikut :

Tabel 4.2 Data waktu dengung pada sudut 0°

frekuensi (Hz)	T1 (s)	T2 (s)		
		kecil	sedang	besar
125	0.398	0.900	0.896	0.363
160	1.058	0.571	1.046	1.054
200	1.142	1.344	1.300	1.107
250	0.813	0.834	0.847	0.650
315	1.367	1.777	1.891	2.375
400	2.048	2.258	2.325	2.364
500	1.425	1.478	1.484	1.529
630	1.686	1.725	1.878	1.960
800	2.118	2.138	2.126	2.113
1000	2.236	2.224	2.233	2.045
1250	2.112	2.295	2.368	2.335
1600	2.083	2.118	2.109	2.145
2000	2.364	2.100	2.252	2.206
2500	2.111	2.061	2.147	2.109
3150	2.168	2.188	2.204	2.263
4000	2.324	2.257	2.234	2.441

Frekuensi (Hz)	T1 (s)	T2 (s)		
		Kecil	Sedang	Besar
5000	2.226	2.214	2.217	2.331
6300	2.219	2.413	2.351	2.350
8000	2.296	2.348	2.454	2.363

Untuk data waktu dengung untuk variasi lain dapat dilihat pada lampiran tabel 1 sampai tabel 4

4.1.3 KOEFISIEN SCATTERING

Seperti yang telah disampaikan pada bab 2.1, koefisien *scattering* adalah kemampuan suatu benda untuk menghamburkan suara. Nilai ini menunjukkan Apakah suatu benda lebih banyak menghamburkan suara ataupun memantulkan suara. Pengambilan data koefisien *scattering* dilakukan di ruangan *reverberation chamber* laboratorium akustik Fisika ITS. Ruang uji yang dipakai memiliki bentuk segilima tidak beraturan dan memiliki volume 140 m^3 . Pengambilan data menggunakan beberapa alat bantu, antara lain *microphone* ECM 8000, *turntable*, *amplifier*, variAC, *horn speaker* Toa ZH-625S, *audio interface* (kartu suara) Tascam, dan juga komputer. Sementara untuk pengambilan dan pengolahan data, digunakan perangkat lunak dari Yoshimasa Electronic, yaitu *Realtime Analyzer* dan juga *Sound Analyzing System*. Adapun bahan uji yang diukur memiliki ukuran $0.6 \times 0.6 \text{ m}^2$ (konsisten dari awal pakai satuan meter atau cm), dengan sudut pengukuran 0° , 30° , dan 60° .

Berdasarkan persamaan 3.2, untuk menentukan nilai koefisien *scattering*, diperlukan parameter T1, T2, T3 dan T4. Dari hasil pengukuran, diperoleh data seperti pada **Tabel 4.3** berikut :

Tabel 4.3. Data waktu dengung pipa kecil pada sudut 0°

frekuensi (Hz)	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T4 (s)
125	0.398	0.900	0.557	0.554
160	1.058	0.571	0.477	0.385
200	1.142	1.344	0.612	0.401
250	0.813	0.834	0.805	0.802
315	1.367	1.777	0.824	2.413
400	2.048	2.258	2.018	2.063
500	1.425	1.478	1.318	1.516
630	1.686	1.725	1.868	1.846
800	2.118	2.138	1.871	2.238
1000	2.236	2.224	2.237	2.214
1250	2.112	2.295	2.068	2.111
1600	2.083	2.118	2.127	2.118
2000	2.364	2.100	2.182	2.096
2500	2.111	2.061	2.034	2.022
3150	2.168	2.188	2.276	2.263
4000	2.324	2.257	2.141	2.223
5000	2.226	2.214	2.252	2.273
6300	2.219	2.413	2.430	2.416
8000	2.296	2.348	2.579	2.454

Untuk data waktu dengung untuk variasi lain dapat dilihat pada lampiran tabel 1 sampai tabel 4

4.1.4 POLA HAMBURAN

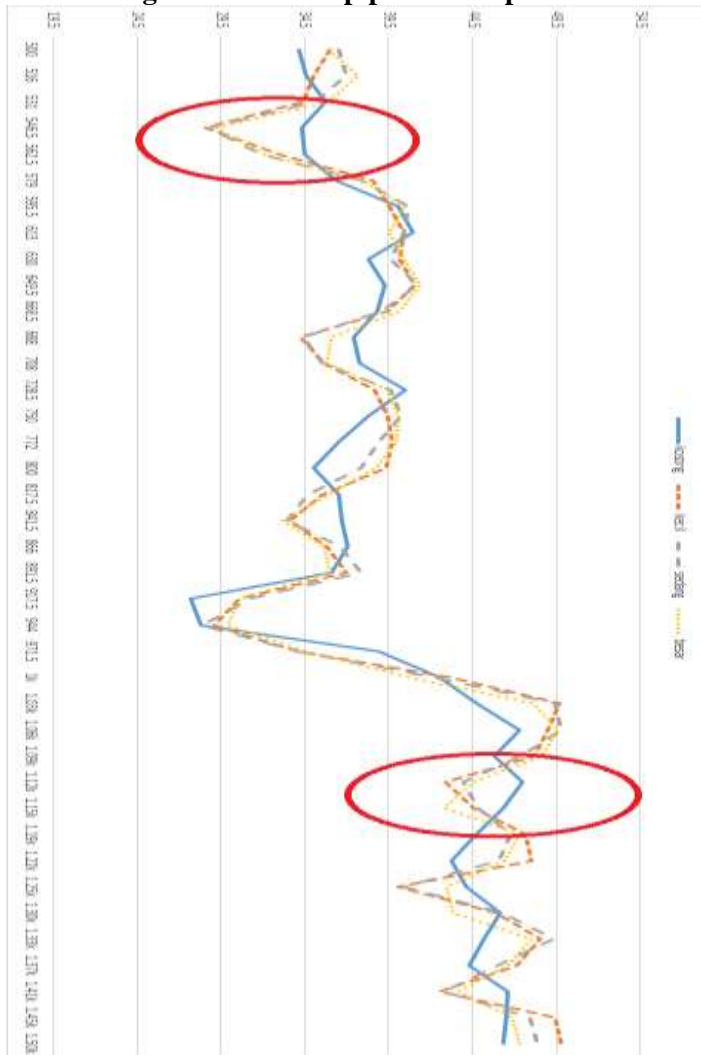
Seperti halnya koefisien *scattering*, pola hamburan berguna untuk mengetahui kemampuan suatu benda untuk menghamburkan suara pada sudut tertentu. Pengukuran pola hamburan dilakukan pada *anechoic chamber* pada

laboratorium akustik Fisika ITS. *Anechoic chamber* berbentuk persegi panjang dengan seluruh sisi ruangan dilapisi oleh bahan penyerap *rockwool* yang memiliki ketebalan 5cm. *Anechoic chamber* yang digunakan memiliki ukuran panjang 5.9m, lebar 3.5m, dan tinggi 3.2m. Berdasarkan pada Trevor (2005), maka ruang uji harus dibagi menjadi 5 bagian. Untuk penempatan bahan uji diletakkan pada posisi 1.18m dari sisi dinding terjauh dari pintu, microphone pada posisi 1.18m dari bahan uji, dan speaker pada posisi 2.36 m dari pintu yang dapat dilihat pada **Gambar 3.7**. Data yang diambil ada dua, yaitu SPL langsung, dan SPL total. SPL langsung adalah tingkat tekanan bunyi yang ditangkap oleh *microphone* pada pengukuran tanpa bahan uji, sedangkan SPL total adalah nilai tingkat tekanan bunyi yang ditangkap oleh *microphone* pada pengukuran dengan bahan uji.

Sebelum dilakukan pengambilan data, pertama diukur nilai *background noise*, dengan tujuan mendapatkan data yang valid, karena jika nilai SPL yang terukur kurang dari 10 diatas *background noise*, maka data yang didapatkan tidak murni SPL, melainkan terpengaruh oleh *background noise*. Pengukuran data dilakukan pada sudut 0° sampai 180° dengan perpindahan sebesar 10° , pada pengukuran data ini, diambil data pada sudut 90° sampai 180° , karena bahan yang diuji adalah bahan yang homogen, karena terbuat dari bahan manufaktur.

4.2 PEMBAHASAN

4.2.1 Pengaruh diameter pipa terhadap resonansi



Gambar 4.1 grafik perubahan nilai tekanan bunyi berdasarkan diameter pipa

Gambar 4.1 terlihat cuplikan perubahan tekanan bunyi yang dialami oleh masing-masing panel untuk frekuensi 1/24 oktaf, dimulai dari 500 sampai dengan 1500 Hz. Dalam perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.5) dan (2.6), didapat bahwa untuk panel yang diuji, frekuensi resonansinya adalah 1082 Hz dan 50 Hz, sementara dari gambar terlihat bahwa frekuensi resonansi yang didapat berada pada frekuensi 546.5 Hz dan 1112 Hz. Dalam penelitian ini didapat bahwa resonansi yang terjadi adalah resonansi negatif bersifat destruktif (bersifat absorber), yaitu resonansi yang menyebabkan berkurangnya nilai SPL ketika ada bahan. Berdasarkan hasil tersebut terlihat bahwa terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dan perhitungan dengan persamaan (2.5), (2.6), dan (2.7). Jika dilihat antara hasil dan **Tabel 4.1** ketiga persamaan tersebut masih kurang mewakili hasil pengukuran, walaupun persamaan 2.5 yang berdasarkan frekuensi resonansi tabung Helmholtz lebih akurat jika dibandingkan dengan persamaan 2.6 yang berdasarkan frekuensi resonansi bahan agregat dan juga 2.7 yang berdasarkan frekuensi resonansi pipa organa tertutup.

4.2.2 Pengaruh sudut terhadap koefisien absorpsi difuser

Tabel 4.4 data perhitungan koefisien absorpsi PVC diameter *besar*

frekuensi (Hz)	0°	30°	60°
125	0.15	6.36	5.90
160	0.22	0.85	19.61
200	1.72	12.64	32.13
250	19.20	-84.02	18.15
315	-19.33	9.65	1.76

Frekuensi (Hz)	0°	30°	60°
400	-4.06	0.04	-10.75
500	-2.97	4.90	11.91
630	-5.16	-17.59	2.38
800	0.07	-5.91	-7.71
1000	2.60	-2.77	-9.26
1250	-2.81	9.02	1.84
1600	-0.86	0.79	0.58
2000	1.89	0.39	5.28
2500	0.03	0.03	-3.58
3150	-1.21	-1.91	0.87
4000	-1.28	-0.40	2.82
5000	-1.26	-1.39	0.39
6300	-1.56	0.55	-4.15
8000	-0.77	-1.98	-7.63

Berdasarkan data yang didapatkan dari **Tabel 4.4** masih terlihat banyak nilai dari koefisien absorpsi yang bernilai diluar jangkauan 0 sampai 1.

Nilai 0 berarti bahwa semua bunyi dipantulkan sementara nilai 1 berarti bahwa semua bunyi diserap (lihat persamaan 3.1). jika dilihat dari salah satu hasil pada tabel, yaitu nilai 0.85 pada frekuensi 160 sudut 30°, maka berarti bahwa sebanyak 85% bunyi diserap, sedangkan 15% bunyi dipantulkan kembali. Secara keseluruhan, terlihat bahwa bahan uji memiliki kemampuan paling baik ketika dipasang dengan sudut 0°, karena pada konfigurasi ini, terlihat paling sedikit memiliki nilai koefisien absorpsi yang tidak diinginkan. Pada sudut 0° dan 30°, keduanya berfungsi baik pada frekuensi tinggi.

4.2.3 Pengaruh diameter pipa terhadap koefisien absorpsi difuser

Tabel 4.5 data perhitungan koefisien absorpsi PVC sudut 60°

frekuensi (Hz)	KECIL	SEDANG	BESAR
125	0.21	8.94	5.90
160	2.41	1.86	19.61
200	3.19	19.87	32.13
250	9.58	18.87	18.15
315	1.52	13.28	1.76
400	-4.11	-4.11	-10.75
500	-1.63	-0.94	11.91
630	-1.74	-1.91	2.38
800	4.19	0.34	-7.71
1000	0.14	3.67	-9.26
1250	-2.56	-1.72	1.84
1600	0.14	-2.47	0.58
2000	4.99	3.32	5.28
2500	-1.28	-5.20	-3.58
3150	1.94	0.07	0.87
4000	0.52	0.71	2.82
5000	0.95	0.51	0.39
6300	-1.95	-1.74	-4.15
8000	-2.70	-3.70	-7.63

Pada **Tabel 4.5**, terlihat bahwa, performa bahan uji dengan diameter pipa kecil yang paling baik. Hal ini terlihat dari banyaknya nilai koefisien *scattering* antara 0 sampai 1. Pipa dengan diameter besar, terlihat bahwa kinerja yang dihasilkan buruk, pipa dengan diameter ini hanya mampu bekerja pada 3 frekuensi, yaitu 1600, 3150, dan 5000 Hz, yang

mana ketiga frekuensi tersebut dapat digantikan oleh bahan dengan diameter kecil dan sedang. Secara keseluruhan, dengan mengacu pada **Tabel 4.5** dan lampiran, nilai kinerja paling baik dimiliki oleh difuser dengan diameter pipa kecil, disusul dengan diameter sedang, lalu diameter besar. Hal ini bisa terjadi karena dengan bahan pipa kecil maka dapat disusun lebih banyak pipa jika dibandingkan dengan diameter yang lebih besar, hal ini berarti bahwa, pada bahan dengan diameter kecil, akan ada semakin banyak permukaan lengkung yang terkena suara yang datang jika dibandingkan dengan bahan dengan pipa berdiameter yang lebih besar.

4.2.4 Pengaruh sudut terhadap koefisien *scattering* difuser

Tabel 4.6 data perhitungan koefisien *scattering* PVC diameter besar

frekuensi (Hz)	0°	30°	60°
125	0.74	0.54	-0.35
160	-6.12	0.89	2.32
200	-0.34	4.91	0.76
250	0.93	0.96	0.79
315	0.93	0.74	2.08
400	0.10	2.06	-1.00
500	0.93	0.91	1.06
630	0.75	0.24	-2.22
800	-5.60	0.57	1.73
1000	0.07	0.89	-0.50
1250	-0.48	0.26	-0.06
1600	-0.55	0.04	2.73
2000	-0.62	0.04	1.59
2500	-0.46	-1.97	-0.30

Frekuensi (Hz)	0°	30°	60°
3150	0.63	0.90	17.29
4000	0.28	0.21	1.06
5000	-0.70	-0.56	-1.18
6300	-0.07	-3.29	0.25
8000	-0.65	-0.47	0.31

Berdasarkan data yang terlihat pada **Tabel 4.6**, dapat diketahui bahwa masih banyak nilai koefisien *scattering* yang memiliki rentang nilai dibawah 0 dan diatas 1, terutama pada sudut 60°. Sementara secara teori, nilai koefisien *scattering* adalah 0 – 1. Hal ini menunjukkan bahwa bahan uji tidak cocok dipasang pada sudut 60°.

Nilai 0 berarti bahwa semua bunyi dipantulkan secara spekular sementara nilai 1 berarti bahwa semua bunyi dipantulkan secara terhambur (lihat persamaan 3.2). jika dilihat dari salah satu hasil tabel, pada frekuensi 125 dengan sudut 0°, didapat nilai *scattering* 0.74, hal ini berarti bahwa pada frekuensi tersebut, sebanyak 74% dari suara yang datang dipantulkan secara terhambur, sementara 26% lainnya dipantulkan secara spekular

Berdasarkan pada keseluruhan data, terlihat bahwa bahan uji memiliki kemampuan paling baik ketika dipasang dengan sudut 30°, karena pada konfigurasi ini, terlihat paling sedikit memiliki nilai koefisien *scattering* yang tidak diinginkan. Pada sudut 0° dan 30°, keduanya berfungsi baik pada frekuensi rendah sampai dengan frekuensi tinggi, dengan sudut 30° memiliki range kerja yang lebih baik. Sudut 60° memang tidak menghasilkan kinerja yang begitu baik jika dibandingkan dengan sudut lainnya. Tetapi pada sudut tersebut,

memiliki kinerja yang baik pada frekuensi tertinggi, yaitu 6300 dan 8000Hz.

4.2.5 Pengaruh diameter pipa terhadap koefisien *scattering* difuser

Tabel 4.7 Data perhitungan koefisien *scattering* sudut 60°

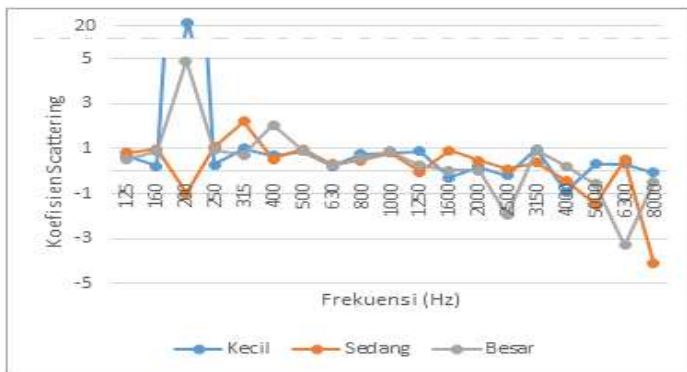
frekuensi (Hz)	KECIL	SEDANG	BESAR
125	0.94	0.59	-0.35
160	0.69	1.45	2.32
200	1.64	1.35	0.76
250	1.18	0.90	0.79
315	0.07	0.75	2.08
400	0.79	0.39	-1.00
500	0.84	0.89	1.06
630	0.64	0.81	-2.22
800	0.88	-6.75	1.73
1000	0.51	0.81	-0.50
1250	0.73	-0.30	-0.06
1600	0.30	0.10	2.73
2000	1.05	1.23	1.59
2500	0.66	0.35	-0.30
3150	1.29	-0.13	17.29
4000	-1.03	-2.25	1.06
5000	3.21	-1.74	-1.18
6300	0.76	0.26	0.25
8000	-1.14	0.00	0.31

Berdasarkan data pada **Tabel 4.7**, terlihat bahwa, performa bahan uji dengan diameter pipa kecil yang paling baik. Hal ini terlihat dari banyaknya nilai koefisien *scattering* antara 0

sampai 1. Pada pipa dengan diameter besar, terlihat bahwa kinerja yang dihasilkan buruk, pipa dengan diameter ini hanya mampu bekerja pada 4 frekuensi, yaitu 200, 250, 6300, dan 8000 Hz. Keempat frekuensi tersebut juga dapat digantikan oleh bahan dengan diameter kecil dan sedang, kecuali untuk frekuensi 200 Hz. Secara keseluruhan, dengan mengacu pada tabel 4.7 dan lampiran, nilai kinerja paling baik dimiliki oleh difuser dengan diameter pipa kecil, disusul dengan diameter sedang, lalu diameter besar. Hal ini bisa terjadi karena dengan bahan pipa kecil maka dapat disusun lebih banyak pipa jika dibandingkan dengan diameter yang lebih besar, hal ini berarti bahwa, pada bahan dengan diameter kecil, akan ada semakin banyak permukaan lengkung yang dapat menghamburkan suara yang datang jika dibandingkan dengan bahan dengan pipa berdiameter yang lebih besar.

4.2.6 Pengaruh frekuensi terhadap koefisien *scattering* difuser

Berdasarkan data pengukuran untuk sudut 30° , maka didapatkan gambar sebagai berikut

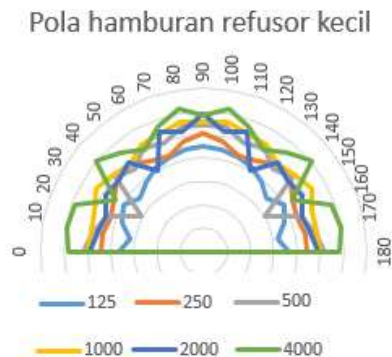


Gambar 4.2 grafik hubungan frekuensi dengan koefisien *scattering* pada pengukuran sudut 30°

Berdasarkan pada **Gambar 4.2** diatas terlihat bahwa untuk frekuensi 200 dan 8000 Hz, ketiga bahan uji memiliki nilai koefisien *scattering* yang berada dibawah 0 dan diatas 1. Hal ini berbarti bahwa pada kedua frekuensi tersebut untuk sudut 30°, ketiga bahan uji tidak bekerja dengan baik. Untuk sudut 30°, anomali terbanyak terdapat pada frekuensi tinggi, yaitu diatas 3150. Secara keseluruhan, kinerja bahan uji paling baik pada frekuensi diantara 500 sampai 2000, dimana pada frekuensi tersebut didapat 63% dari semua sudut dan diameter yang memiliki nilai diantara 0 dan 1, sementara itu kinerja paling buruk yaitu pada frekuensi diantara 2000 sampai 8000, yaitu 44%. Selain itu, frekuensi paling buruk adalah 200 Hz, dimana pada frekuensi tersebut hanya ada satu nilai yang memiliki nilai diantara 0 dan 1.

4.2.7 Pengaruh frekuensi terhadap pola hamburan

Berdasarkan data yang telah didapatkan, maka bisa ditampilkan grafik sebagai berikut

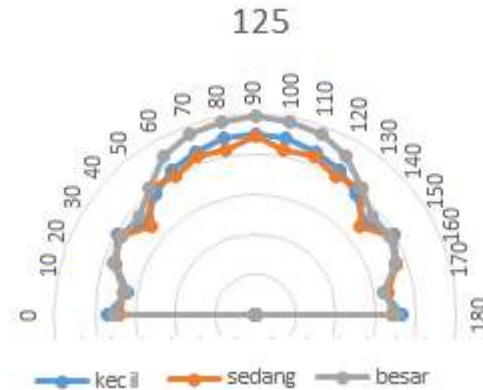


Gambar 4.3 Grafik pola hamburan difuser kecil

Pada **Gambar 4.3**, bisa dilihat pola hamburan dari difuser kecil yang diambil pada frekuensi 1 oktaf, dari 125

sampai dengan 4000 Hz. Pada **Gambar** 4.3 terlihat bahwa pola hamburan pada frekuensi 125 dan 250 Hz lebih seragam jika dibandingkan dengan frekuensi lainnya, terlebih lagi jika dibandingkan dengan frekuensi tinggi, yaitu 2000 dan 4000 Hz.

4.2.8 Pengaruh diameter pipa terhadap pola hamburan



Gambar 4.4 grafik Pola hamburan pada frekuensi 125 Hz

Pada **Gambar** 4.4 diatas bisa dilihat pola hamburan dari ketiga difuser untuk frekuensi 125 Hz. Terlihat bahwa persebaran hamburan bunyi pada frekuensi 125 Hz seragam untuk ketiga diameter difuser, baik kecil, sedang, maupun besar

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan perhitungan penelitian, maka didapatkan beberapa kesimpulan, diantara lain

1. Frekuensi resonansi dari ketiga resonator berada pada frekuensi 546.5 Hz.
2. Berdasarkan nilai dari koefisien *scattering*, difuser dengan pipa kecil cocok ditempatkan pada sudut 0 frekuensi 125 dengan nilai S 0.98. pipa sedang pada sudut 30 frekuensi 500 dengan nilai S 0.99. pipa besar pada sudut 0 frekuensi 500 dengan nilai S 0.93
3. Pola hamburan difuser telah didapat, dan berdasarkan frekuensi didapat bahwa hamburan pada frekuensi 125, 250, dan 500 Hz lebih seragam daripada frekuensi 1000, 2000, dan 4000 Hz.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- D'Antonio P, TJ Cox. 2004. *“Acoustic absorbers and diffuser: theory, design and application”*. Spoon Press : London.
- ISO 174971:2004. Acoustics -- Sound-scattering properties of surfaces -- Part 1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room
- Jeon YJ, Sung CL, Michael V. 2004. *“Development of Scattering Surfaces for Concert Halls”*. Applied Acoustics 65:341-355.
- K. B. Ginn. 1978. *“Architectural Acoustics”*. Bruel & Kjaer : Denmark
- Latifah, Nur Laela. 2015. *“Fisika Bangunan 2”* Griya Kreasi:Jakarta
- Stephanie J.Mitchell. 2016. *“Metaconcrete: Engineered aggregates for enhanced dynamic performance”*. California Institute of Technology.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DATA PENGUKURAN WAKTU DENGUNG DAN KOEFISIEN *SCATTERING*

Tabel 1. Data pengukuran T1, T2, T3, dan T4 pada sudut 0°

frekuensi (Hz)	T1 (s)	T2 (s)			T3 (s)	T4 (s)		
		kecil	sedang	besar		kecil	sedang	besar
125	0.398	0.900	0.896	0.363	0.439	0.554	1.17	0.425
160	1.058	0.571	1.046	1.054	0.705	0.385	1.407	0.517
200	1.142	1.344	1.300	1.107	1.36	0.401	0.998	0.668
250	0.813	0.834	0.847	0.650	1.34	0.802	0.727	1.163
315	1.367	1.777	1.891	2.375	2.922	2.413	1.969	2.969
400	2.048	2.258	2.325	2.364	2.018	2.063	2.306	2.279
500	1.425	1.478	1.484	1.529	1.468	1.516	1.496	1.466
630	1.686	1.725	1.878	1.960	2.002	1.846	2.173	1.939
800	2.118	2.138	2.126	2.113	1.871	2.238	2.104	2.145
1000	2.236	2.224	2.233	2.045	2.237	2.214	2.279	2.203
1250	2.112	2.295	2.368	2.335	2.068	2.111	2.423	2.458
1600	2.083	2.118	2.109	2.145	2.096	2.118	2.2	2.262
2000	2.364	2.100	2.252	2.206	2.182	2.096	2.343	2.145

2500	2.111	2.061	2.147	2.109	2.019	2.022	2.19	2.126
3150	2.168	2.188	2.204	2.263	2.276	2.263	2.428	2.26
4000	2.324	2.257	2.234	2.441	2.134	2.223	2.565	2.418
5000	2.226	2.214	2.217	2.331	2.241	2.273	2.24	2.421
6300	2.219	2.413	2.351	2.350	2.397	2.416	2.581	2.884
8000	2.296	2.348	2.454	2.363	2.579	2.454	2.707	2.765

Tabel 2. Data pengukuran T1, T2, T3, dan T4 pada sudut 30°

frekuensi (Hz)	T1 (s)	T2 (s)			T3 (s)	T4 (s)		
		kecil	sedang	besar		kecil	sedang	besar
125	0.585	0.580	0.436	0.552	0.7	0.466	0.647	0.562
160	0.768	0.515	0.710	0.760	0.556	0.554	0.801	0.528
200	0.691	0.675	0.975	0.606	0.11	0.852	0.849	0.791
250	0.312	0.879	0.520	0.539	0.537	0.868	0.717	0.549
315	0.975	0.901	0.905	0.847	0.77	0.826	0.653	0.74
400	1.246	1.210	1.236	1.245	1.32	1.312	1.28	1.175
500	1.776	1.528	1.472	1.558	1.701	1.776	1.651	1.641
630	0.915	1.099	1.176	1.234	0.997	1.157	1.185	1.263
800	1.440	1.636	1.670	1.668	1.298	1.327	1.404	1.353
1000	1.797	2.055	2.038	1.953	1.828	1.848	1.838	1.797
1250	2.119	1.695	1.708	1.621	2.05	1.893	1.65	1.668
1600	2.095	2.044	2.074	2.041	2.12	2.073	2.055	2.111
2000	1.965	2.175	2.181	1.941	1.997	2.186	2.089	1.944
2500	1.942	2.004	2.041	1.940	1.879	1.984	2.028	1.998

3150	1.869	2.072	2.013	1.983	1.967	2.081	2.14	1.924
4000	1.932	1.938	1.974	1.956	2.017	2.078	2.11	2.06
5000	1.941	1.854	1.923	2.029	1.981	1.967	2.057	2.183
6300	1.833	1.830	1.885	1.804	1.939	1.918	1.976	2.105
8000	1.538	1.626	1.595	1.617	1.778	1.912	2.005	1.967

Tabel 3. Data pengukuran T1, T2, T3, dan T4 pada sudut 60°

frekuensi (Hz)	T1 (s)	T2 (s)			T3 (s)	T4 (s)		
		kecil	sedang	besar		kecil	sedang	besar
125	1.743	1.733	1.394	1.492	1.586	1.392	1.43	1.497
160	1.823	1.703	1.729	1.496	0.697	0.686	0.96	1.147
200	2.375	2.117	1.351	1.158	1.241	1.051	1.398	1.22
250	1.551	1.252	1.055	1.067	1.203	1.216	1.142	1.062
315	1.268	1.230	0.998	1.068	1.195	1.162	1	1.104
400	1.055	1.134	1.134	1.224	1.06	1.056	1.121	1.036
500	1.718	1.799	1.764	1.290	1.68	1.654	1.682	1.717
630	1.661	1.742	1.750	1.293	1.701	1.690	1.655	1.668
800	1.359	1.245	1.349	1.562	1.43	1.426	1.244	1.349
1000	1.317	1.313	1.222	1.634	1.228	1.214	1.263	1.223
1250	1.758	1.895	1.848	1.638	1.804	1.802	1.948	1.714
1600	1.747	1.740	1.877	1.671	1.719	1.715	1.85	1.71
2000	2.029	1.745	1.831	1.719	1.803	1.792	1.779	1.637
2500	1.622	1.678	1.876	1.731	1.717	1.710	1.875	1.887

3150	1.896	1.790	1.892	1.789	1.935	1.907	1.944	1.988
4000	2.029	1.995	1.983	1.847	1.997	1.995	1.993	2.06
5000	1.966	1.909	1.935	1.858	2.056	2.054	2.08	1.942
6300	1.761	1.864	1.852	1.942	2.088	2.083	2.163	2.148
8000	1.603	1.723	1.772	1.995	1.952	2.459	2.208	2.31

Tabel 4. Data koefisien scattering pada sudut

frekuensi (Hz)	0°			30°			60°		
	KECI L	SEDAN G	BESA R	KECI L	SEDAN G	BESA R	KECI L	SEDAN G	BESA R
125	0.98	-0.84	0.74	0.67	0.82	0.54	0.94	0.59	-0.35
160	0.39	1.56	-6.12	0.23	0.99	0.89	0.69	1.45	2.32
200	1.60	-0.70	-0.34	20.57	-0.98	4.91	1.64	1.35	0.76
250	0.95	3.00	0.93	0.28	1.07	0.96	1.18	0.90	0.79
315	-43.51	-5.09	0.93	1.00	2.20	0.74	0.07	0.75	2.08
400	0.56	0.16	0.10	0.68	0.55	2.06	0.79	0.39	-1.00
500	0.25	0.25	0.93	0.87	0.99	0.91	0.84	0.89	1.06
630	0.07	-0.06	0.75	0.22	0.32	0.24	0.64	0.81	-2.22
800	-1.92	-3.44	-5.60	0.74	0.46	0.57	0.88	-6.75	1.73
1000	0.81	-2.13	0.07	0.83	0.82	0.89	0.51	0.81	-0.50
1250	0.52	-0.02	-0.48	0.87	-0.05	0.26	0.73	-0.30	-0.06
1600	0.89	0.33	-0.55	-0.29	0.90	0.04	0.30	0.10	2.73
2000	0.93	4.02	-0.62	0.19	0.47	0.04	1.05	1.23	1.59
2500	-1.88	-0.27	-0.46	-0.18	0.10	-1.97	0.66	0.35	-0.30

3150	0.51	0.33	0.63	0.98	0.39	0.90	1.29	-0.13	17.29
4000	7.56	25.77	0.28	-0.92	-0.40	0.21	-1.03	-2.25	1.06
5000	0.30	0.05	-0.70	0.33	-1.49	-0.56	3.21	-1.74	-1.18
6300	0.69	0.56	-0.07	0.31	0.50	-3.29	0.76	0.26	0.25
8000	1.14	0.25	-0.65	-0.08	-4.11	-0.47	-1.14	0.00	0.31

Tabel 5. Hasil pengukuran SPL hamburan untuk refusor besar

sudut	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
0	35.06	47.82	39.04	45.19	36.23	46.05	49.81	42.38	39.40	49.69	51.02	49.08	50.56	48.23	49.14	59.55	53.58	58.12	49.61
10	32.57	45.67	39.84	45.07	31.22	46.53	48.11	36.58	41.85	47.75	50.71	47.14	49.07	51.31	51.72	51.36	51.62	52.32	57.69
20	37.38	45.88	35.49	40.35	47.84	51.10	46.61	46.54	48.30	51.87	50.89	52.14	37.38	55.65	55.40	61.41	53.86	56.13	49.86
30	38.61	42.81	43.78	43.34	48.66	46.26	39.64	46.63	42.33	53.27	52.88	50.35	47.57	53.28	34.27	55.78	53.53	52.61	64.88
40	37.78	41.91	42.48	46.52	47.72	44.33	50.08	45.73	36.32	51.59	53.32	47.13	48.92	46.77	33.31	59.07	44.83	46.80	63.17
50	41.28	40.54	42.87	44.12	50.30	49.23	41.00	54.14	56.07	45.12	47.50	57.00	57.16	60.38	62.61	55.97	70.59	71.62	65.64
60	45.24	44.27	43.47	40.01	51.07	47.16	45.64	55.16	56.21	52.08	52.18	51.83	53.73	58.75	61.02	54.96	71.26	72.62	67.32
70	47.80	48.10	49.75	40.62	47.31	45.14	44.02	51.52	53.15	43.62	49.07	55.99	56.22	58.76	53.22	56.02	70.66	73.09	65.38
80	48.66	47.63	53.40	46.64	41.84	47.49	50.55	48.36	49.33	44.19	54.21	44.64	56.65	52.00	56.83	66.46	63.06	68.41	66.43
90	49.19	51.23	53.90	42.81	48.70	46.41	42.29	42.57	38.46	53.75	53.14	58.57	40.15	55.64	63.95	58.07	68.43	66.58	71.35
100	48.66	47.63	53.40	46.64	41.84	47.49	50.55	48.36	49.33	44.19	54.21	44.64	56.65	52.00	56.83	66.46	63.06	68.41	66.43
110	47.80	48.10	49.75	40.62	47.31	45.14	44.02	51.52	53.15	43.62	49.07	55.99	56.22	58.76	53.22	56.02	70.66	73.09	65.38
120	45.24	44.27	43.47	40.01	51.07	47.16	45.64	55.16	56.21	52.08	52.18	51.83	53.73	58.75	61.02	54.96	71.26	72.62	67.32
130	41.28	40.54	42.87	44.12	50.30	49.23	41.00	54.14	56.07	45.12	47.50	57.00	57.16	60.38	62.61	55.97	70.59	71.62	65.64
140	37.78	41.91	42.48	46.52	47.72	44.33	50.08	45.73	36.32	51.59	53.32	47.13	48.92	46.77	33.31	59.07	44.83	46.80	63.17

150	38.61	42.81	43.78	43.34	48.66	46.26	39.64	46.63	42.33	53.27	52.88	50.35	47.57	53.28	34.27	55.78	53.53	52.61	64.88
160	37.38	45.88	35.49	40.35	47.84	51.10	46.61	46.54	48.30	51.87	50.89	52.14	37.38	55.65	55.40	61.41	53.86	56.13	49.86
170	32.57	45.67	39.84	45.07	31.22	46.53	48.11	36.58	41.85	47.75	50.71	47.14	49.07	51.31	51.72	51.36	51.62	52.32	57.69
180	35.06	47.82	39.04	45.19	36.23	46.05	49.81	42.38	39.40	49.69	51.02	49.08	50.56	48.23	49.14	59.55	53.58	58.12	49.61

Tabel 6. Hasil pengukuran SPL hamburan untuk refusor sedang

sud ut	12 5	16 0	20 0	25 0	31 5	40 0	50 0	63 0	80 0	10 00	12 50	16 00	20 00	25 00	31 50	40 00	50 00	63 00	80 00
0	33. 72	48. 95	41. 15	44. 05	40. 17	48. 77	51. 25	41. 58	38. 53	50. 73	48. 01	50. 17	43. 50	49. 65	52. 95	58. 84	51. 74	48. 62	58. 08
10	33. 42	42. 50	40. 27	44. 46	43. 76	47. 39	47. 16	37. 93	45. 22	50. 09	51. 34	47. 78	46. 16	49. 92	51. 68	56. 39	53. 54	47. 79	54. 79
20	36. 97	42. 76	39. 66	41. 23	46. 22	49. 39	43. 15	44. 89	45. 86	51. 54	48. 84	51. 41	42. 52	51. 55	49. 58	57. 02	55. 28	48. 12	54. 59
30	39. 29	43. 36	43. 32	44. 79	49. 43	46. 08	41. 62	46. 23	45. 09	53. 61	49. 30	49. 35	45. 69	52. 10	51. 41	58. 39	53. 71	41. 87	49. 15
40	33. 88	41. 19	40. 87	48. 31	48. 51	46. 04	50. 49	47. 54	39. 16	50. 44	50. 94	52. 16	48. 45	52. 31	42. 85	59. 44	54. 89	52. 25	55. 71
50	40. 95	39. 68	49. 29	50. 18	42. 00	49. 19	49. 53	46. 72	47. 00	53. 45	46. 24	50. 51	51. 55	49. 17	56. 05	58. 14	54. 10	52. 41	54. 67
60	39. 77	47. 08	49. 48	46. 48	47. 55	48. 38	51. 53	49. 53	48. 38	55. 12	55. 83	52. 62	53. 15	56. 30	55. 29	64. 58	61. 81	48. 37	43. 40
70	41. 99	52. 80	45. 05	42. 54	46. 79	49. 12	49. 98	49. 68	49. 29	55. 60	55. 61	58. 06	57. 82	59. 11	58. 96	68. 67	64. 12	60. 98	60. 10
80	41. 56	53. 63	50. 01	46. 74	47. 23	50. 24	54. 64	50. 92	52. 57	55. 11	55. 16	56. 00	56. 26	60. 88	57. 14	63. 58	61. 43	63. 14	63. 93
90	44. 46	54. 95	49. 11	51. 86	46. 85	50. 64	53. 31	48. 76	48. 67	54. 86	59. 62	60. 17	58. 71	59. 76	60. 34	65. 52	68. 89	64. 66	69. 20
10 0	41. 56	53. 63	50. 01	46. 74	47. 23	50. 24	54. 64	50. 92	52. 57	55. 11	55. 16	56. 00	56. 26	60. 88	57. 14	63. 58	61. 43	63. 14	63. 93
11 0	41. 99	52. 80	45. 05	42. 54	46. 79	49. 12	49. 98	49. 68	49. 29	55. 60	55. 61	58. 06	57. 82	59. 11	58. 96	68. 67	64. 12	60. 98	60. 10

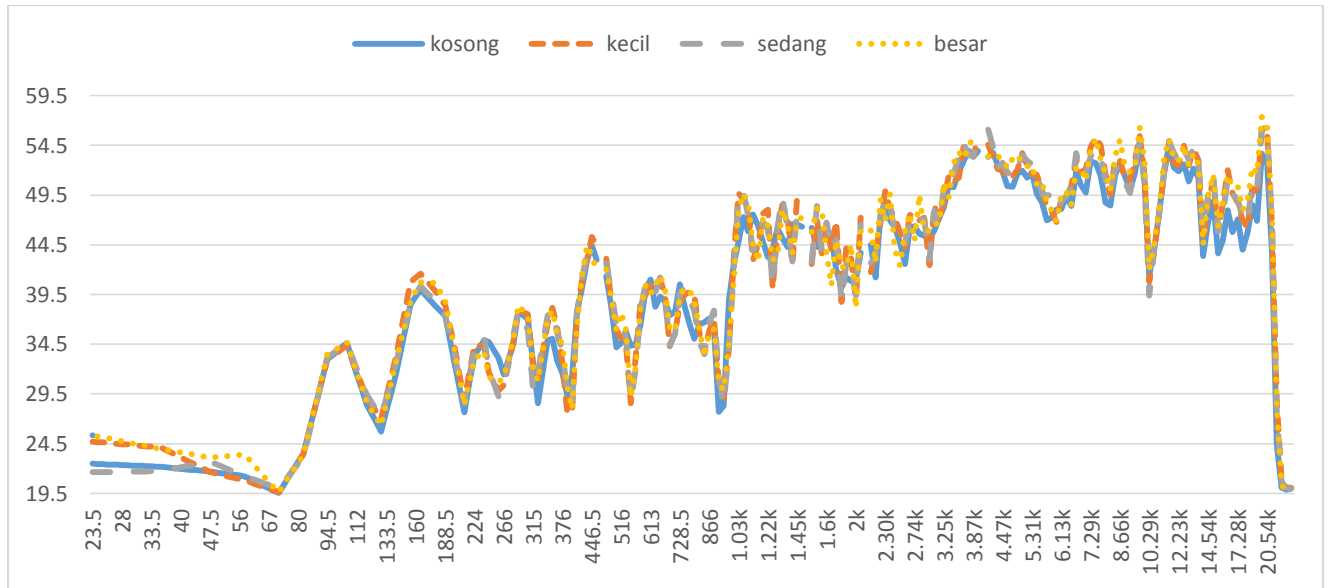
12 0	39. 77	47. 08	49. 48	46. 48	47. 55	48. 38	51. 53	49. 53	48. 38	55. 12	55. 83	52. 62	53. 15	56. 30	55. 29	64. 58	61. 81	48. 37	43. 40
13 0	40. 95	39. 68	49. 29	50. 18	42. 00	49. 19	49. 53	46. 72	47. 00	53. 45	46. 24	50. 51	51. 55	49. 17	56. 05	58. 14	54. 10	52. 41	54. 67
14 0	33. 88	41. 19	40. 87	48. 31	48. 51	46. 04	50. 49	47. 54	39. 16	50. 44	50. 94	52. 16	48. 45	52. 31	42. 85	59. 44	54. 89	52. 25	55. 71
15 0	39. 29	43. 36	43. 32	44. 79	49. 43	46. 08	41. 62	46. 23	45. 09	53. 61	49. 30	49. 35	45. 69	52. 10	51. 41	58. 39	53. 71	41. 87	49. 15
16 0	36. 97	42. 76	39. 66	41. 23	46. 22	49. 39	43. 15	44. 89	45. 86	51. 54	48. 84	51. 41	42. 52	51. 55	49. 58	57. 02	55. 28	48. 12	54. 59
17 0	33. 42	42. 50	40. 27	44. 46	43. 76	47. 39	47. 16	37. 93	45. 22	50. 09	51. 34	47. 78	46. 16	49. 92	51. 68	56. 39	53. 54	47. 79	54. 79
18 0	33. 72	48. 95	41. 15	44. 05	40. 17	48. 77	51. 25	41. 58	38. 53	50. 73	48. 01	50. 17	43. 50	49. 65	52. 95	58. 84	51. 74	48. 62	58. 08

Tabel 7. Hasil pengukuran SPL hamburan untuk refusor kecil

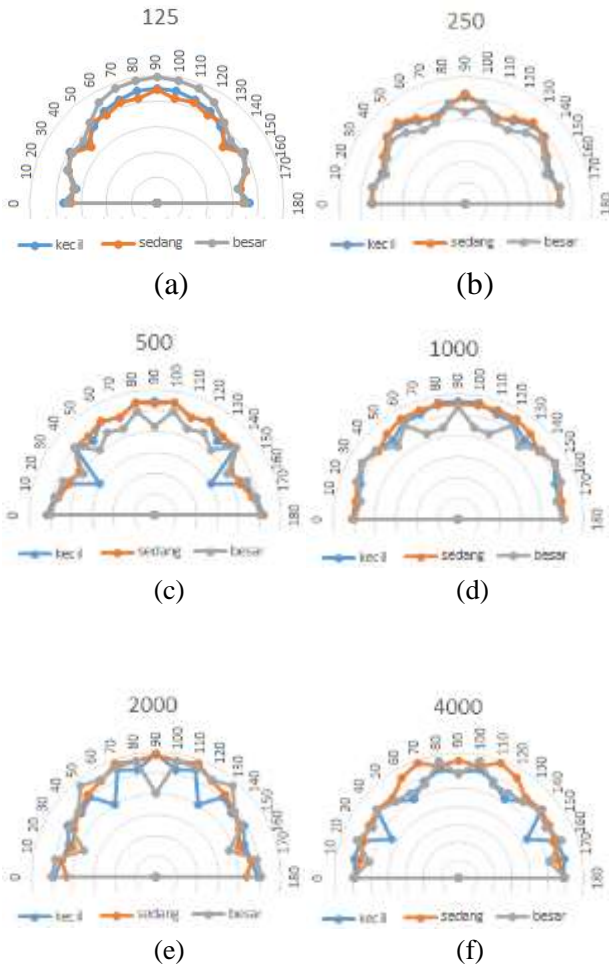
sud ut	12 5	16 0	20 0	25 0	31 5	40 0	50 0	63 0	80 0	10 00	12 50	16 00	20 00	25 00	31 50	40 00	50 00	63 00	80 00
0	36. 54	50. 08	39. 90	44. 36	38. 15	48. 73	51. 68	42. 83	39. 60	49. 85	49. 40	48. 29	48. 97	47. 76	52. 83	57. 92	56. 22	48. 40	52. 63
10	32. 41	46. 72	39. 92	44. 41	41. 54	44. 99	48. 70	26. 43	37. 74	48. 91	51. 78	46. 42	46. 29	51. 64	49. 65	60. 04	52. 28	47. 75	53. 14
20	36. 99	43. 76	39. 81	42. 40	46. 35	49. 65	44. 06	45. 32	47. 68	49. 63	51. 33	49. 44	44. 90	52. 64	47. 89	58. 64	52. 95	48. 65	57. 61
30	39. 82	42. 95	42. 75	44. 25	49. 41	47. 56	30. 53	39. 61	45. 46	53. 57	51. 85	49. 34	48. 88	50. 28	45. 69	44. 07	52. 89	49. 87	57. 15
40	35. 44	39. 07	47. 33	48. 96	47. 98	45. 75	49. 49	46. 56	43. 63	51. 07	49. 37	52. 67	47. 36	47. 15	46. 96	60. 29	49. 81	41. 79	57. 54
50	38. 87	47. 98	49. 24	48. 84	41. 73	46. 74	45. 96	45. 53	46. 33	48. 91	49. 18	48. 61	49. 76	50. 93	52. 21	55. 58	48. 35	52. 40	55. 64
60	41. 48	37. 31	48. 51	44. 89	45. 25	48. 18	51. 73	48. 64	46. 30	53. 36	43. 78	52. 28	40. 09	56. 62	56. 00	50. 71	55. 91	48. 40	53. 28
70	43. 19	52. 70	47. 60	43. 48	46. 05	48. 81	49. 78	50. 78	49. 56	53. 74	51. 43	52. 55	55. 02	58. 36	47. 23	56. 91	59. 69	40. 48	45. 78
80	44. 47	52. 86	50. 14	47. 77	47. 59	51. 38	54. 48	51. 51	51. 17	56. 60	51. 88	58. 59	52. 20	58. 96	57. 14	61. 97	65. 68	52. 88	66. 65
90	44. 94	49. 83	48. 48	50. 46	49. 19	50. 69	54. 24	49. 36	48. 57	55. 95	57. 90	56. 69	59. 40	59. 96	61. 21	58. 53	61. 73	66. 46	70. 78
10 0	44. 47	52. 86	50. 14	47. 77	47. 59	51. 38	54. 48	51. 51	51. 17	56. 60	51. 88	58. 59	52. 20	58. 96	57. 14	61. 97	65. 68	52. 88	66. 65
11 0	43. 19	52. 70	47. 60	43. 48	46. 05	48. 81	49. 78	50. 78	49. 56	53. 74	51. 43	52. 55	55. 02	58. 36	47. 23	56. 91	59. 69	40. 48	45. 78

12	41.	37.	48.	44.	45.	48.	51.	48.	46.	53.	43.	52.	40.	56.	56.	50.	55.	48.	53.
0	48	31	51	89	25	18	73	64	30	36	78	28	09	62	00	71	91	40	28
13	38.	47.	49.	48.	41.	46.	45.	45.	46.	48.	49.	48.	49.	50.	52.	55.	48.	52.	55.
0	87	98	24	84	73	74	96	53	33	91	18	61	76	93	21	58	35	40	64
14	35.	39.	47.	48.	47.	45.	49.	46.	43.	51.	49.	52.	47.	47.	46.	60.	49.	41.	57.
0	44	07	33	96	98	75	49	56	63	07	37	67	36	15	96	29	81	79	54
15	39.	42.	42.	44.	49.	47.	30.	39.	45.	53.	51.	49.	48.	50.	45.	44.	52.	49.	57.
0	82	95	75	25	41	56	53	61	46	57	85	34	88	28	69	07	89	87	15
16	36.	43.	39.	42.	46.	49.	44.	45.	47.	49.	51.	49.	44.	52.	47.	58.	52.	48.	57.
0	99	76	81	40	35	65	06	32	68	63	33	44	90	64	89	64	95	65	61
17	32.	46.	39.	44.	41.	44.	48.	26.	37.	48.	51.	46.	46.	51.	49.	60.	52.	47.	53.
0	41	72	92	41	54	99	70	43	74	91	78	42	29	64	65	04	28	75	14
18	36.	50.	39.	44.	38.	48.	51.	42.	39.	49.	49.	48.	48.	47.	52.	57.	56.	48.	52.
0	54	08	90	36	15	73	68	83	60	85	40	29	97	76	83	92	22	40	63

Gambar 1. Grafik Hasil pengukuran SPL untuk resonator



Gambar 2. Grafik pola hamburan difuser pada frekuensi (a) 125 Hz; (b) 250 Hz; (c) 500 Hz; (d) 1000 Hz; (e) 2000 Hz; dan (f) 4000 Hz





Penulis Andy Agusta Putra adalah anak ke-2 dari 2 bersaudara yang lahir dari pasangan Soentoro dan Sri Sugiarti. Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 01 Agustus 1991. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Tunas Harapan, SDN Pacarkembang V, SMPN 9 Surabaya, dan SMKN 5 Surabaya. Setelah tamat pendidikan atas, penulis menjadi mahasiswa Fisika ITS sejak tahun 2012 dengan diterima melalui jalur SNMPTN tulis dengan NRP 1112100023, dan mendalami bidang instrumentasi dan akustik. Selama menempuh pendidikan kuliah, penulis pernah menjadi asisten laboratorium elektronika dasar selama 3 semester dan juga pernah menjadi finalis pekan ilmiah mahasiswa nasional ke 28 yang diselenggarakan di Universitas Haluoleo, Kendari, Sulawesi Tengah.

